

〔数1〕

$$u_r = \frac{h_{11}u_1 + h_{12}u_2 + h_{13}}{h_{31}u_1 + h_{32}u_2 + h_{33}}, \quad v_r = \frac{h_{21}u_1 + h_{22}u_2 + h_{23}}{h_{31}u_1 + h_{32}u_2 + h_{33}} \quad (1)$$

〔外1〕

各カメラの道路平面に対する位置と姿勢、さらには、各カメラのレンズの焦点距離、画像原点に関するパラメータである。 h_i は、あらかじめ道路平面上の4点以上の左右画像への接続点から求めておく。この関係式を用いて、左画像上の任意の点P (u_1, v_1) が道路平面上に存在すると仮定した場合の右画像上の接続点P' (u'_r, v'_r) を求める。点Pが道路平面上に存在すれば、点PとP'が正しい対応点の組となるので、2点の角度の差は小さくなる。したがって、点PとP'の角度の違いが大きい場合には、点Pは対応接続点領域に属すると判定する。以下では式1を道路平面拘束と呼ぶ。

〔0008〕この方式には、キャリブレーションと並んで、ステレオ撮影の間隔である対応接続が不要というメリットもある。通常のステレオ撮影は、左右画像間に同一点を対応づける必要があり、その対応づけは接続計算により行われるため、計算コストが高いため、上記の方式は、その対応接続が不要であるため、計算コストが極めて低く、実用的な方式である。

〔0009〕ステレオカメラが3次元空間中で固定していれば、道路平面と各カメラの幾何学的な関係は不变であるので、一度求めたパラメータを使って、道路平面上に存在する対応接続点を検出可能である。しかし、車が走行している場合には、車自身の振動や道路の断続的变化等のため、道路平面と各カメラの相対的な位置や姿勢の関係は日々変化する。つまり、走行中にパラメータは変化するため、前半時に求めた道路平面拘束を走行中の対応接続点検出に用いることはできない。

〔0010〕通常、このような問題に対しては、道路面上の多数の特徴点（道路上のペイントの角点等）を用いて道路平面拘束を計算し、対応接続点を検出するという方法が用いられる。しかし、道路面上の多数の特徴点を抽出することは困難であり、対応接続点の特徴点を抽出することが多い。さらに、抽出した特徴点の対応接続を行なう必要がありますが、計算コストが高い。また、求められたパラメータの数が多いため、安定に道路平面拘束を求めることが難しいという問題があった。

〔0011〕〔発明が解決しようとする課題〕上記のように、対応接続装置はレーザや超音波を用いるものとTVカメラを用いるものに大別できるが、レーザや超音波を利用する対応接続装置は高価であったり、計測精度が低いという問題があった。また、TVカメラを利用する対応接続装置は、使用環境が限定されたり、多大な時間と労力を必要とするキャリブレーションが必要であった。

5

〔数2〕

された2枚の画像を画像メモリに蓄積する。
〔0016〕特微抽出部3は、画像蓄積部2により蓄積された2枚の画像において、図6に示すように、2本の直線1-1、1-2を各々検出し、その交点（消失点）を求める。この直線検出はエッジ抽出処理とHough変換等を用いて行なう。

〔0017〕パラメータ計算部4は、筋化時に求めた*

$$u = \frac{h_{11}X + h_{12}Y + h_{13}}{h_{31}X + h_{32}Y + h_{33}} \quad (2)$$

$$v = \frac{h_{21}X + h_{22}Y + h_{23}}{h_{31}X + h_{32}Y + h_{33}} \quad (3)$$

〔外2〕 という関係式が既に立つ。 h_{ij} ($i=1, 2, 3; j=1, 2, 3$) ("は仮置記号") は、
された2枚の画像上において、図6に示すように、2本の直線1-1、1-2を各々検出し、その交点（消失点）を求める。この直線検出はエッジ抽出処理とHough変換等を用いて行なう。

〔0017〕パラメータ計算部4は、筋化時に求めた*

$$u = \frac{h_{11}X + h_{12}Y + h_{13}}{h_{31}X + h_{32}Y + h_{33}} \quad (4)$$

$$v = \frac{h_{21}X + h_{22}Y + h_{23}}{h_{31}X + h_{32}Y + h_{33}} \quad (5)$$

〔外2〕 という関係式が既に立つ。 h_{ij} ($i=1, 2, 3; j=1, 2, 3$) ("は仮置記号") はカメラの位置と姿勢、焦点距離、画像中心に関するパラメータである。 h_{ij} は定数倍しても同一の記事情報をみてなされたもので、キャリブレーションの手間が少なく、道路両端の2本の白線の走行中の画像上の動きだけから、道路平面と各カメラの幾何学的な関係を求めることにより、走行中に振動や道路自身に振動があっても、道路平面上に存在する対応接続物を高速に検出する対応接続装置を提供する。

〔0012〕 〔問題を解くための手段〕 画像を入力する複数台のTVカメラと、複数のTVカメラにより入力された複数枚の画像を蓄積するための画像蓄積部と、道路平面上に存在する線を抽出する特微抽出部と、特微抽出部により抽出された複数の線から、道路平面上の任意の点の各画像への投影位置の間に成り立つ関係式を求めるパラメータ計算部と、パラメータ計算部によって求めた関係式を用いて、道路面から異なる高さを行する物体を検出する検出部から構成される。

〔0013〕 〔発明の実施例〕 以下で、本発明の実施例を図面に従い説明する。本実施例は、図1に示すように車に搭載した左右2台のステレオカメラから、歩行者や先行車、駐車車両等、道路平面上に存在する対応接続物を検出する状況を想定している。図2は同実施例における本装置の概略構成を示す。車体部3、パラメータ計算部4、検出部5から構成されている。本装置部は、道路平面上の点の左右画像への投影位置の間に成り立つ関係式（以下では道路平面拘束と呼ぶ）を静止時にあらかじめ求めておいて、自車の振動や道路の断続的变化する走行時の道路平面拘束を、道路上に存在する2本の白線の動きのみから計算し、それを用いて道路平面上に存在する対応接続点を識別する。

〔0014〕 同実施例では、図3に示すように、道路両端の2本の白線を1-1、1-2とし、直線1-1、1-2方向をY軸、左方、上下方向をX、Z軸、傾斜のない平面（基準面）をXY平面とするステレオカメラ座標系を設定する。画像入力部1は、左右2台のTVカメラを用いて2枚の画像を入力する。これら2台のカメラの位置や姿勢をあらかじめ求めなくて済むが、ここでは各カメラは車に固定されており、走行中には変化しないものとする。

〔0015〕 画像蓄積部2は、画像入力部1により入力

*基礎平面に対する道路平面拘束と、求めた2本の白線との消失点から、走行時の道路平面拘束を計算する。以下に、この方法について説明する。

〔0018〕 図3に示したステレオカメラ座標系では道幅平面（基準面）は $Z=0$ と表されるため、道路平面上でも一般性を失わない、そこで以下では $h_{32}=1$ とする。

$$u = \frac{h_{11}X + h_{12}Y + t_1}{h_{31}X + Y + t_3}, \quad v = \frac{h_{21}X + h_{22}Y + t_2}{h_{31}X + Y + t_3} \quad [数3]$$

$$u \approx \frac{h_{11}X + h_{12}Y + t_1}{Y + \beta}, \quad v \approx \frac{h_{21}X + h_{22}Y + t_2}{Y + \beta} \quad [数4]$$

となる。ここで以下の前提でカメラモデルを考える。
(a) カメラから比較的遠方を対象領域とする。
(b) 左右カメラの前後の位置が微小である。

$$[式(4)の分母] = Y + \beta + h_{12}Y + h_{22}Y \approx Y + \beta \quad (6)$$

$$[式(5)の分母] = Y + \beta + h_{12}Y + h_{22}Y \approx Y + \beta \quad (7)$$

となる。ここで、 β は図5に示すような左右カメラの視点の中点と座標原点のY方向のずれであり、 $t_3 = \beta + *$ となる。ここで以下の前提でカメラモデルを考える。
(a) カメラから比較的遠方を対象領域とする。
(b) 左右カメラの前後の位置が微小である。

〔外3〕 となる。右辺の行列をMとおく。図6に示すように白線 l_1, l_2 の交点（消失点） $t_1 = (h_{11}, h_{12})^T$ と $t_2 = (h_{21}, h_{22})^T$ とする。
〔0020〕走行時の道路の横絞り変化や自車の振動によると前述化できる。さらに $Y_C = Y + \beta$ とおくと、
 $\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & t_1 - \beta h_{12} \\ h_{21} & t_2 - \beta h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X/Y_C \\ 1/Y_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} h_{12} \\ h_{22} \end{bmatrix}$

となる（1）、 t_1 は白線の消失点）。これより、
 $u_r - t_r = M_r M_r^{-1}(u_r - t_r) = A(u_r - t_r)$ 〔数8〕

となる。ここで、“ r ”は各々左右画像に対する添字である。ステレオカメラのキャリブレーションを行なっていないので、 M_1, M_2 は未知であるが、 h は単位化したとしたとする（図4）・ X 方向の勾配は、一般に Y 方向の勾配に比べて十分小さいで無視することができ、傾斜面と基準面の交線をX軸にとれば、傾斜面の方程式は

とみなす。ここで、“ r ”は各々左右画像に対する添字である。ステレオカメラのキャリブレーションを行なっていないので、 M_1, M_2 は未知であるが、 h は単位化したとしたとする（図4）・ X 方向の勾配は、一般に Y 方向の勾配に比べて十分小さいで無視することができ、傾斜面と基準面の交線をX軸にとれば、傾斜面の方程式は

$Z = pY$ と表現できる。 $Z = pY$ に対する道路平面拘束

を 2 本の白線の動き (図 7) から計算可能する方法を示す。輪郭面上の点 (X, Y, Z) の画像への投影位置^{*}

$$u' = \frac{h_{11}X + (h_{12} + ph_{13})Y + t_1}{(1 + ph_{33})Y + \beta} \quad (10)$$

[外 4]

となる。ここで傾斜が微小、すなわち $p \approx 0$ と仮定すると、

[段 10]

$$u' \approx \frac{h_{11}X + (h_{12} + ph_{13})Y + t_1}{Y + \beta} \quad (10)$$

$Y = Y + \beta$ とおき、さらに式 (3) より v' について

も同様の式変形を行うと、

$$\begin{bmatrix} u' \\ v' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & t_1 - \beta u_0 \\ h_{21} & t_2 - \beta u_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X/Y_C \\ 1/Y_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u'_0 \\ v'_0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

[外 5]

ただし、 $(u'_0, v'_0)^T = t'$ は 2 本の白線の消失点である。

$\Delta u = (\Delta u, \Delta v)^T = u - t$, $\Delta u'_r = (\Delta u', \Delta v')^T = u' - t'$ とおくと、式 (7) より $\Delta v = M\Delta u$

だから上式は、

$$* * * [段 12]$$

$$\begin{aligned} \Delta u' &= \begin{bmatrix} h_{11} & t_1 - \beta u_0 \\ h_{21} & t_2 - \beta u_0 \end{bmatrix} X + \beta \begin{bmatrix} 0 & \Delta u_0 \\ 0 & \Delta v_0 \end{bmatrix} X \\ &= \Delta u + \beta/Y_C \Delta t \end{aligned} \quad (13)$$

だから $\Delta t = (\Delta u_0, \Delta v_0)^T = t - t'$ 式 (7) より、

[外 6]

であり、

$$M^{-1} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{bmatrix} \quad * * * [段 14] \quad (14)$$

[外 7]

とすると $1/Y_C = m_{21}\Delta u + m_{22}\Delta v$ となる。したがって、式 (13) は、

[段 15]

$$\Delta u' = \begin{bmatrix} 1 + \beta_1 \Delta u_0 & \beta_2 \Delta u_0 \\ \beta_1 \Delta v_0 & 1 + \beta_2 \Delta v_0 \end{bmatrix} \Delta u \quad (16)$$

となる。ただし、 $\beta_1 = m_{21}\beta$, $\beta_2 = m_{22}\beta$ とし ◆ [外 8]

白線が $t_1 \Delta u = p_1 \Delta u$ から $t'_1 \Delta u' = p'_1 \Delta u'$ に変化したとすると式 (16) より、

[段 16]

$$(p'_1 \Delta u_0 - \Delta v_0) \beta_1 + p_1 (p'_1 \Delta u_0 - \Delta v_0) \beta_2 = p_1 - p'_1 \quad (17)$$

* (u', v') は、式 (2) に $Z = pY$ を代入すると、前述の 2 つの前提下では、

得る。もう 1 本の白線 ($t_2 - t'_2$) についても同様に式変形を行なうと、

$$(p'_2 \Delta u_0 - \Delta v_0) \beta_1 + p_1 (p'_2 \Delta u_0 - \Delta v_0) \beta_2 = p_2 - p'_2 \quad (18)$$

[外 9]

となり、 $\beta = [\beta_1, \beta_2]^T$ に関する 2 本の 1 次方程式を得る。これらより β を求めれば、式

(16) の行列 K を求めることができる。左右画像に各 * [外 10]

々について上記の処理を行なうと、道路平面上の点の投影位置は、傾斜の変化によって $\Delta u'_r = K_r \Delta u_r$, $\Delta u'_l = K_l \Delta u_l$ と変換され、したがって、式 (9) を用いると、

$\Delta u'_r = K_r \Delta u_r = K_r A_r \Delta u_r = K_r A_r K_r^{-1} \Delta u'_r$ となる。式 (9) の A_r が、傾斜により $A'_r = K_r A_r K_r^{-1}$ へと変化したことになる。式 (19) が傾斜面に対する道路平面上の点の投影位置は、パラメータ引数部 4 で求めた道筋平面上の輪郭物を抽出する。左画像の注意点 (u_l, v_l) の傾度を t_l , (u_r, v_r) の傾度を t_r とする。点 (u_l, v_l) が実際には存在すれば、点 P と P' は正しい対応点の組となるから、基本的には点 P と P' の傾度が同じになる。つまり、

◆ (u_r, v_r) は単位行列となり、式 (19) において、 $A'_r = A_r$ と求め、その傾度を t_r とする。点 (u_r, v_r) が実際には存在すれば、点 P と P' は正しい対応点の組となるから、基本的には点 P と P' の傾度が同じになる。つまり、

$D = |I_L(u_l, v_l) - I_R(u_r, v_r)|$ (1) (1) は絶対値)

として、 $D \neq 0$ 、あるいは既存を考慮し、 $D > T_{H,r}$ 物領域に属すると判定する。式 (19) において、 $A'_r = A_r$ と

から逆行時に道筋平面上の輪轄物を検出することができる。

[段 13]

$X = M^{-1} \Delta u$ とする。* * * [段 14]

として、 $|I_L(u_l, v_l) - I_R(u_r, v_r)|$ (1) (1) は絶対値)

なる。これにより、さらに高速に輪轄面に対する道筋平面上の輪轄物を得ることができる。

[段 14]

$I(0, 0, 2, 1)$ 以上のようにして、車載のステレオカメラから逆行時に道筋平面上の輪轄物を検出することができる。

[段 15]

$I(0, 0, 2, 3)$ 本実施例は画像入力部 1, 2 台の TV メラを左右に並べて 2 枚の画像を入力しているが、これらのカメラは上下に配置してもよい。

[段 16]

$I(0, 0, 2, 4)$ また、特微抽出部 3 は、道筋平面上の 2 本の線を抽出する場合について説明したが、3 本以上の線を抽出してもよい。

[段 17]

$I(0, 0, 2, 5)$ また、逆行中の自車の振動のみを考慮すればよい場合には、式 (16) で $\beta = 0$ ($\beta_1 = \beta_2 = 0$) と仮定してよいので、同式右辺の行列が $K = 1$ (1) ◆

$$g(u, v) = g(u', v') \quad (21)$$

ただし、 (u, v) は、式 (19) より求める。 g (この場合は先行並列) 上の点は、道筋からの高さに応じて異なる位置に投影される。したがって、この左画像

面上に存在すると仮定した場合に、左カメラで得られる画像である。例えば、図 10 の右画像からは、同図に示すような変換画像を得る。図 1-1 に示すように、道筋平面上に存在する点の投影点は、左画像と変換画像で同一となる

ものに対し、道筋平面上にない点、すなわち、輪轄物

$$D' = \left\{ \int [f(u, v) - g(u, v)] \right\} \quad \left(\begin{array}{l} \text{1} \\ \text{2} \end{array} \right) \quad \left(\begin{array}{l} \text{1} \\ \text{2} \end{array} \right)$$

$$D' = \left| \int [f(u, v) - g(u, v)] \right| \quad \left(\begin{array}{l} \text{1} \\ \text{2} \end{array} \right)$$

として、 $D' \neq 0$ 、あるいは誤差を考慮して、 $D' > Th_r$ (Th_r はあらかじめ設定した閾値) となる点 (u, v) は障害物領域に属すると判定する。

【0028】また、検出能5は画像間差分をとることによって2枚の画像の差異を検出したが、各点に対して *

$$C = \frac{1}{N} \sum_{\eta=v-\xi=u}^v \sum_{\xi=u}^v (F(u+\xi, v+\eta) - a_1)(G(u+\xi, v+\eta) - a_2) \quad (23)$$

ここで、 $N = (2w+1) \times (2w+1)$ 、 $a_1, a_2 \approx [外, 1]$ は2枚の画像のウインドウ内の角度の平均、※

a_1^2, a_2^2 は2枚の画像のウインドウ内の角度の分散である。この場合、 $C < Th_r$ (Th_r はあるかじめ設定した閾値) となる点 (u, v) が障害物領域に属すると判定する。

【0029】また、本実施例では道路両端の2本の白線を直線として抽出したが、道路がカーブしている場合には白線は曲線となる。この場合には、白線を曲線として抽出すれば、同様に障害物を検出することができる。

【0030】また、道路面として平面を仮定して説明したが、曲面の場合であっても、平価の場合と同様に障害物を検出することができます。

【0031】また、本実施例は、車載カメラからの障害物検出に関して記述したが、例えば、移動ロボットの自走走行にも適用することが可能であり、手法は正確さから障害物検出に限定されるものではない。

【0032】その他、本発明の要旨を逸脱しない範囲で変形を実施できる。

【0033】「光明の効果」道路平面上の高さにより障害物を検出するため、明るさの変動や影の影響を受けず、画面から先駆車や歩行者等の障害物を検出することができます。また、道路平面と各カメラの幾何学的な関係から成り立つ構式で、道路両端の2本の白線のみから求めているため、走行中の振動や道路平面に傾斜にある場合でも、高速に道路平面上の障害物を検知することができます。*

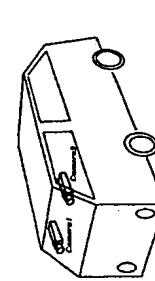
【発明の効果】道路平面上の高さにより障害物を検出するため、明るさの変動や影の影響を受けず、画面から先駆車や歩行者等の障害物を検出することができます。また、道路平面と各カメラの幾何学的な関係から成り立つ構式で、道路両端の2本の白線のみから求めているため、走行中の振動や道路平面に傾斜にある場合でも、高速に道路平面上の障害物を検知することができます。*

30 図。

【符号の説明】

- 1、画像入力部
- 2、画像蓄積部
- 3、特微抽出部
- 4、パラメータ計算部
- 5、検出部

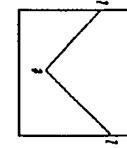
【図1】



【図1】



【図2】



【図3】



【図4】



【図5】



【図6】



【図7】



【図8】



【図9】



【図10】



【図11】



【図12】



【図13】



【図14】



【図15】



【図16】



【図17】



【図18】



【図19】



【図20】



【図21】



【図22】



【図23】



【図24】



【図25】



【図26】



【図27】



【図28】



【図29】



【図30】



【図31】



【図32】



【図33】



【図34】



【図35】



【図36】



【図37】



【図38】



【図39】



【図40】



【図41】



【図42】



【図43】



【図44】



【図45】



【図46】



【図47】



【図48】



【図49】



【図50】



【図51】



【図52】



【図53】



【図54】



【図55】



【図56】



【図57】



【図58】



【図59】



【図60】



【図61】



【図62】



【図63】



【図64】



【図65】



【図66】



【図67】



【図68】



【図69】



【図70】



【図71】



【図72】



【図73】



【図74】



【図75】



【図76】



【図77】



【図78】



【図79】



【図80】



【図81】



【図82】



【図83】



【図84】



【図85】



【図86】



【図87】



【図88】



【図89】



【図90】



【図91】



【図92】



【図93】



【図94】



【図95】



【図96】



【図97】



【図98】



【図99】



【図100】



【図101】



【図102】



【図103】



【図104】



【図105】



【図106】



【図107】



【図108】



【図109】



【図110】



【図111】

</div